

## **APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**

Francisco Romeu Landi, Professor Titular, EPUSP  
Virgínia Maria Dantas de Araújo, Mestre em Engenharia, EPUSP

**UNITERMOS: Simulação. Edificações. Desempenho térmico**

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO  
DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Virgínia Maria Dantas de Araújo (\*)

Orientador: Prof. Francisco Romeu Landi

RESUMO:

Este trabalho propõe um método que analisa e compara a influência dos condicionantes térmicos e construtivos, na variação da temperatura do ar interior de um protótipo em função de modificações simuladas, tanto a nível da orientação, como a nível do projeto em si, através da utilização do programa de computador NBSLD. Os resultados comparativos destas simulações, sugere alguns aspectos térmicos a serem considerados no projeto de edificações habitacionais térreas, a fim de adequá-lo ao clima da região de estudo.

ABSTRACT:

This work suggests a method to analize and compare the influence of thermics and constructives aspects on temperature variations inside of a house's prototype, as a function of simulated modifications, such as the house position in relation to the prevalent wind direction, and the project design itself, through the use a computer program - NBSLD. The comparative results obtained through those simulations indicate some thermic aspects that must be considered when designing low rise dwellings, so that it 'can be fitted to the particularities of the study region's climate.

(\*) Virgínia Maria Dantas de Araújo. Professora do Departamento de Arquitetura da UFRN.

## 1. INTRODUÇÃO

O problema da adequação da arquitetura ao clima tem sido objeto de estudos profundos e detalhados nos grandes centros de pesquisa, principalmente, na Europa e na América do Norte. No entanto, nem todos os resultados dessas pesquisas e disponíveis na literatura são aplicáveis diretamente à nossa realidade, devido às diferenças existentes, tanto nos materiais, quanto nas condições climáticas.

No nosso país, tal problema foi pouco estudado, tendo-se como referência (01) (08) (10), sendo que a dissertação de mestrado sob o título "Recomendações para Adequação de uma Edificação ao Clima, no Estado de São Paulo" (01) foi a primeira a analisar a questão. O referido trabalho levantou as características de verão e inverno para diferentes regiões do Estado de São Paulo, definiu os requisitos que deveriam ser atendidos pelos componentes da edificação e produziu um conjunto de recomendações relativas às características térmicas de coberturas, paredes e janelas. Adotando esse mesmo procedimento, o IPT, por iniciativa do BNH, estabeleceu recomendações para todo o Brasil, a nível de regiões climáticas, que se encontram no Relatório nº 16.277, sob o título "Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares" (10).

Por último, a também dissertação de mestrado "Considerações sobre o Desempenho Térmico de Edifícios na Região de Natal (RN) - Estudo de Caso: Edifício em Conjunto Habitacional" (08), avaliou o desempenho térmico de edificações de interesse social na mesma região do trabalho ora apresentado, em função da mudança nas orientações dos componentes de um denominado edifício tipo. De certa forma, suas constatações foram reavaliadas através do presente trabalho.

Projetar uma edificação adequada ao clima, implica levar em conta os condicionantes climáticos da região (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar e ventos), as exigências de conforto térmico dos usuários e as características térmicas e construtivas do edifício.

Tal processo, no entanto, envolve não só o conhecimento de quais são estes fatores, como também, de como levá-los em consideração no projeto. Portanto, neste trabalho, inicialmente, procede-se o levantamento dos fundamentos do problema e, em seguida, propõe-se uma metodologia que analisa e compara a influência da ocupação, dos condicionantes térmicos e construtivos na variação da temperatura do ar interior de um protótipo na região de Natal (RN), para a época de verão, em função de modificações simuladas, tanto a nível da orientação, como a nível do projeto em si, através de um programa de computador. E baseados nos resultados comparativos destas simulações, sugere alguns aspectos térmicos a serem considerados no projeto de construções habitacionais terreas, a fim de adequá-lo ao clima da região de estudo.

## 2. A PROBLEMÁTICA DO DESEMPENHOS TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

A problemática envolvida na caracterização do desempenho térmico de edificações tem despertado a atenção de muitas instituições de pesquisa, tanto a nível nacional, quanto internacional. Com o crescente avanço na utilização de computadores digitais, os métodos computacionais estão, cada vez mais, encontrando extensa aplicação na resolução desses problemas, principalmente, quando se quer obter resultados com um grau razoável de precisão,

pois os métodos simplificados são necessariamente baseados em ~~su-~~ posições muito limitativas, na maioria das vezes, distante da realidade e, portanto, de pouca aplicabilidade.

Basicamente, três métodos computacionais tratam o problema da transmissão de calor em regime não permanente, ou seja, variável com o tempo:

- a) Método Numérico
- b) Método Harmônico
- c) Método dos Fatores de Resposta.

As vantagens e limitações de cada uma destas técnicas foram analisadas por Gupta et alii (09), em função da facilidade de computação e do grau de exatidão com qual eles lidam com as considerações, tais como: a condução térmica através das várias camadas que constituem as paredes e cobertura; a capacidade térmica da estrutura interna dos elementos e componentes; as cargas radiantes internas e as trocas por convecção e radiação; a operação termostática e a capacidade de definição da variação da temperatura interna; a variação da ventilação interna; o sombreamento; os coeficientes superficiais de transmissão térmica e o fluxo de calor através do piso.

### 3. O PROGRAMA NBSLD

Com a elaboração do programa de computador NBSLD (National Bureau of Standards Load Determination), o método dos fatores de resposta térmica teve sua aplicação prática voltada à edificação. O referido programa foi desenvolvido em linguagem fortran no Departamento de Engenharia Ambiental do National Bureau of Standards, E.U.A., com o objetivo de tornar acessível aos projetistas a avaliação do desempenho térmico de edificações. De operação relativamente simples, o programa permite o cálculo de cargas térmicas de aquecimento e/ou resfriamento de ambientes, bem como a temperatura do ar interior, quando os mesmos não são condicionados, com um grau de precisão até então não viabilizado de forma pouco complexa.

O programa NBSLD foi modificado e adaptado no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.), tornando-se compatível com as características climáticas e a posição geográfica do nosso país e de acordo com as nossas necessidades. Vale lembrar que esse programa foi elaborado para aplicação no hemisfério Norte e de acordo com as características climáticas próprias dos Estados Unidos.

A seguir, é apresentada a estrutura do programa e as suas várias opções de cálculo.

O programa NBSLD é formado por sub-rotinas, que podem ser utilizadas separadamente do programa principal. Os algoritmos de cálculo podem ser encontrados no manual do programa (12). O diagrama esquemático da Figura 1 ilustra o inter-relacionamento das sub-rotinas e a ordem de chamada no programa principal.

As modalidades de cálculo permitidas pelo programa são determinadas, basicamente, pelas seguintes opções de processamento:

1. Ambientes não condicionados artificialmente — neste caso, é possível calcular os valores da temperatura do ar interior, quando os das superfícies interiores e exteriores de todos os elementos que compõem o recinto, juntamente com os valores do fluxo de calor nessas superfícies.

2. Valor fixado para a temperatura interna - neste caso, são calculadas as cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias para manter o ar interior a essa temperatura.
3. Fixados um limite superior e um limite inferior para a temperatura do ar interior - nesse caso, são determinadas as cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias para manter a temperatura do ar interior dentro do intervalo pré-fixados.
4. Fixados, além dos limites superior e inferior da temperatura do ar interior, as cargas térmicas máximas de aquecimento ou de resfriamento do sistema de condicionamento artificial do recinto - nesse caso, os resultados dos cálculos efetuados pelo programa são os mesmos da opção 3, com a diferença de que, quando os valores das cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias ultrapassarem os limites pré-fixados, serão determinados, então os valores apresentados pela temperatura do ar interior, mantendo-se os limites estabelecidos para as cargas térmicas.

Neste trabalho, utilizaremos nas simulações somente a primeira opção, obtendo-se os valores horários da temperatura do ar interior, para a avaliação do desempenho térmico do protótipo.

#### 4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES SIMULADAS ATRAVÉS DO PROGRAMA NBSLD.

##### 4.1. MÉTODO PROPOSTO PARA ANÁLISE DO PROBLEMA

Neste trabalho, o método de análise empregado é o de simulação teórica, baseado na variação horária da temperatura do ar interior em um protótipo residencial, situado no Conjunto Habitacional "Cidade Satélite" do INOCOOP-RN, na região de Natal-RN, que se sabe, à priori, apresenta problemas de conforto térmico.

O método proposto consiste, inicialmente, de caracterizar-se o ambiente térmico exterior (clima) e, para tal, são adotadas as condições de verão (consideradas críticas) e, mais especificamente, as condições médias do mês de fevereiro, com referência aos dados da Estação de Superfície do Ministério da Aeronáutica, localizada no CATRE (Centro de Aplicação Táticas e Recomplementos de Equipagem no Aeroporto Augusto Severo), dos anos 1970

a 1979. O programa NBSLD permite efetuar os cálculos para um determinado dia, de três maneiras: com os dados horários desse dia apenas; com os dados horários desse dia e dos anteriores, perfazendo uma sequência de até nove dias; ou com os valores máximo e mínimo da temperatura de bulbo seco e o valor máximo da temperatura de bulbo úmido do ar exterior desse dia. Dessa forma, em função dos dados climáticos da região de estudo disponíveis, adotou-se a 3<sup>a</sup> modalidade, denominada "design load calculation", que é particularmente para realizar simulação aplicadas a um "dia típico de projeto". Além disso, vários outros dados necessários e os referentes à radiação solar são determinados em função de características locais, da época do ano e da posição geográfica.

Quanto à caracterização construtiva do protótipo, é feita baseada nas especificações fornecidas pelo INOCOOP-RN, e as grandezas que caracterizam as propriedades térmicas dos elementos e materiais foram estabelecidas em função dos valores recomendados pelo ASHAE (04) e pelo CSTB (06).

Da mesma forma, é feito um levantamento de todo o esquema de ocupação do protótipo, quanto ao número de pessoas residentes, horários médios de permanência nos vários recintos, tempo que as janelas permanecem abertas, horários de utilização de iluminação artificial, enfim, todos os dados necessários à operação do programa NBSLD.

Para a operacionalização do programa, é utilizado o computador BORROUGHS-Sistema B-6900 do Centro de Computação Eletrônica (CCE) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Primeiramente, é feita a simulação para o cálculo da variação horária de temperatura do ar interior do protótipo nas condições padrão de implantação e o resultado é comparado com as exigências de conforto térmico. Como as exigências não são atendidas, procede-se modificações teóricas simuladas no protótipo, sob as mesmas condições climáticas e esquema de ocupação.

Neste trabalho, considerando as características climáticas da região e os objetivos deste estudo, definiu-se as exigências de conforto térmico somente para a situação de verão. Optou-se pelos limites recomendados nos resultados parciais da pesquisa "Condicionantes Ambientais e Fisiológicos para os Usuários das Edificações em Natal-RN" (02).

O conjunto de variáveis, que expressam as exigências de conforto térmico interior, pode ser definido pelas seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco do ar; umidade relativa do ar; velocidade do ar; e temperatura radiante média.

Os conjuntos de valores parciais atribuídos a todas essas variáveis ambientais, quando elas definem situações de conforto térmico para a região de estudo e para as situações particulares do referido experimento, já foram definidos. No entanto, para efeito de análise do presente trabalho, apenas os valores limites da variável temperatura do ar interior foram considerados. Essa limitação pode ser expressa por:

$$25.6^{\circ}\text{C} \leq t_i \leq 28.7^{\circ}\text{C}$$

onde:  $t_i$  = temperatura do ar interior ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.2. DESCRIÇÃO DAS MODIFICAÇÕES SIMULADAS

01. Rotação do protótipo no sentido horário de  $150^{\circ}$ , em relação a sua real implantação.

02. Rotação do protótipo no sentido horário de  $60^{\circ}$ , em relação a real implantação;
03. Cobertura com uma camada de ar ventilada entre a telha de barro e a laje;
04. Cobertura com telha de cimento-amiante com uma camada de ar ventilada entre a referida telha e a laje;
05. Cobertura com camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de barro;
06. Cobertura leve constituída de forro de madeira leve e telhado de barro;
07. Consideradas todas as janelas completamente abertas com ventilação intensa;
08. Cobertura com uma camada de ar ventilada além das janelas completamente abertas com ventilação intensa;
09. Cobertura com uma camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de barro, além das janelas completamente abertas com ventilação intensa;
10. Orientação adequada com relação aos ventos predominantes, além das janelas completamente abertas com ventilação proporcional;
11. Orientação adequada com ventilação intensa, considerando todas as janelas abertas, além da cobertura com uma camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de cor clara.

Os resultados de todas as modificações simuladas neste trabalho, pode-se ilustrar nos gráficos da figura 2, que representa as médias das temperaturas horárias do ar interior dos vários recintos do protótipo com as respectivas modificações, em relação as médias das temperaturas horárias do ar interior dos mesmos nas condições padrão.

Analisando a curva representativa da modificação simulada 11, na Figura 2, constata-se que exigência da temperatura do ar interior foi praticamente atendida. No entanto, sugere uma abordagem quanto ao ganho de calor nos horários de maior intensidade de radiação solar, através dos componentes do protótipo, que se rá trabalhada em fase posterior a este trabalho.

#### 4.3. TESTE REALIZADO COM O PROGRAMA NBSLD.

Para efeito de comparação entre os valores calculados pelo programa de computador NBSLD e os respectivos valores medidos, foi realizado um teste para o cálculo dos valores horários da temperatura do ar interior do Escritório da Estação Climática do Campus Universitário, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Por outro lado, é importante observar que o ideal teria sido realizar este teste com o protótipo, mas que por motivo de falta de instrumentos adequados para tal, foi realizado com o Escritório da Estação Climática do Campus Universitário, por já contar com registradores de temperatura do ar (termógrafos) no abrigo metereológico (exterior) e no Escritório (interior).

Para testar o programa, observou-se o comportamento da Temperatura de bulbo seco do ar exterior durante uma sequência de 6 (seis) dias (13 a 18/02/83) e escolheu-se o dia 17, por apresentar valores horários mais próximos dos adotados para as simulações anteriores.

Com todos os dados necessários a operacionalização do programa, este foi processado, considerando os 03 (três) ambientes da edificação, ou seja, o escritório propriamente dito, o banheiro e o depósito, mas que para efeito de análise, considerou-se apenas os resultados do primeiro, onde foram registrados os dados da temperatura de bulbo seco do ar interior, para a mesma sequência de dias já referida.

Considerando que as curvas de temperatura do ar, em função do tempo, representam uma onde, a comparação entre os valores medidos e os simulados para o Escritório apresentam discordâncias na fase e uma diferença máxima de 1,5 C nas amplitudes, sendo menor a amplitude da onde referente aos valores medidos (Figura 3).

Dada as diferenças observadas entre os valores medidos e simulados, uma das hipóteses levantadas, quanto a discordância na fase, foi, inicialmente, que observou-se uma defassagem entre os horários que ocorrem os valores máximos e mínimos da temperatura do ar exterior medidos e estimados, além desta modalidade utilizada do programa "design load calculation" transformar a variação horária da temperatura do ar exterior numa senóide perfeita, o que não ocorre normalmente na região de estudo.

Quanto à diferença nas amplitudes, se justifica pelas simplificações introduzidas no modelo físico, ao se estabelecer os dados de entrada do programa, dadas as incertezas nos valores correspondentes às características termo-físicas dos elementos e materiais adotados de bibliografia estrangeira.

De modo geral, pode-se concluir que, apesar destas diferenças, os resultados das modificações simuladas analisadas anteriormente, a nível qualitativo, são perfeitamente adequados aos objetivos do presente trabalho.

## 5 - CONCLUSÕES

Ao iniciar o presente estudo, tinha-se noção da complexidade que envolve o problema, principalmente, no que se refere ao como levar o clima em consideração no projeto. Neste sentido, a metodologia, ora adotada, foi produto de muitas discussões e hipóteses e, com certeza, constitui-se num instrumento importantíssimo para ser utilizado pelo projetista, ainda na fase de anteprojeto, onde o desempenho térmico da futura edificação pode ser simulado e reformulado a nível do desenho, caso não atenda as exigências definidas, a priori.

Nesse sentido, pode-se dizer que o programa de computador NBSLD, trata-se de um instrumento de cálculo que responde, de forma satisfatória, às necessidades mais comuns. Embora o modelo em que se baseia o programa compreenda algumas restrições, a sua aplicabilidade é extensível a vários tipos de edificações com diferentes sistemas construtivos. Nesse contexto, deve-se lembrar que a precisão e a exatidão obtidas para os valores calculados, não dependem, unicamente, da precisão com que são realizados os cálculos numéricos mas, em grande parte, dos dados de entrada, tanto os referentes ao clima, quanto aos referentes às propriedades termo-físicas das edificações.

Apesar do presente trabalho se restringir ao estudo de um protótipo, a nível de sua orientação, redimensionamento de alguns componentes e substituição de materiais, devia-se limitar a abordagem somente em função do seu desempenho térmico, em particular. No entanto, os resultados comprovaram as hipóteses gerais levantadas na bibliografia específica, a nível qualitativo, para as construções habitacionais na região de estudo.

Através das modificações simuladas, constatou-se a necessidade de se dedicar especial atenção à ventilação e a cobertura, quando da concepção dos projetos com referências aos seguintes aspectos:

VENTILAÇÃO: pode-se melhorar o desempenho térmico das construções habitacionais térreas unifamiliares, a partir de orientação adequada das mesmas, em relação aos ventos predominantes locais. Para tal, torna-se necessário conhecer a direção e a intensidade destes ventos, além da densidade de ocupação do solo, pois quanto maior a densidade, menor a velocidade do ar ao nível do solo. As edificações devem permitir, em seu interior, a livre circulação do ar e, para isso, deve-se projetar criteriosamente ambi-

entes com partições internas, a fim de não prejudicar a ventilação cruzada nos mesmos. Quanto às aberturas, estas devem ser amplas e permitir permanente a livre circulação do ar.

COBERTURA: em função da latitude da região de estudo ( $5^{\circ}45'54"S$ ), verificou-se ser a cobertura o componente responsável pelo grande ganho de calor das edificações. Portanto, fundamentados também nos resultados das simulações, apresenta-se alguns aspectos a nível deste componente. Estes referem-se a coberturas leves, isolantes e refletoras, além do uso de colchão de ar entre o forro leve, permitindo ventilação cruzada também neste espaço.

Pode-se observar que estes aspectos, ora abordados, referem-se a uma etapa e que muitas outras restaram a cumprir.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (01) ALUCCI, Márcia P. Recomendações para adequação de uma edificação ao clima no Estado de São Paulo. São Paulo, 1981. 2v. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
- (02) ARAÚJO, Virginia M.D. et alii. Condicionantes ambientais e fisiológicas para os usuários das edificações em Natal-RN. S.l., 1986. (Relatório Parcial, CNPq-Processo 40.43.03/84-SA).
- (03) AKUTSU, Maria. Aplicação do método dos fatores de resposta para a determinação da resposta térmica de edificações. 253p. São Paulo, 1983. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
- (04) AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of fundamentals. New York, 1977.
- (05) \_\_\_\_\_. Handbook of fundamentals. New York, 1981.
- (06) RÈGLES Th-K77, règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris, 184(1478): 1-154, nov.1977. DTU.
- (07) FANGER, P.O. Thermal comfort: analysis and applications engineering. New York, McGraw-Hill, 1972. 244p.
- (08) GRANADO JR., Milton V. Considerações sobre o desempenho térmico de edifícios na região de Natal-RN: estudo de caso; edifício em conjunto habitacional. São Carlos, 1982. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

- (09) GUPTA, C.L. et alii. A conceptual survey of computer-oriented thermal calculation methods. Melbourne, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, s.d.
- (10) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Conforto higrotérmico. In: \_\_\_\_\_. Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, IPT, 1981. v.4. (Relatório IPT, nº 16.277)
- (11) KUSUDOMI, Tamami. Thermal response factors for multi-layer structures of various heat conduction systems. ASHRAE Transactions, New York, 75: 246-70, 1969.
- (12) \_\_\_\_\_. NBSLD, the computed program for heating and cooling loads in buildings. Washington, Department of Commerce, 1976.
- (13) LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. O problema da transmissão térmica em elementos de construção. Lisboa, 1966.
- (14) STEPHENSON, D.G.; MITALAS, G.P. Cooling load calculation by thermal response factor method. ASHRAE Transactions, New York, 73(Part 1), 1967.
- (15) SOUZA, Roberto de. Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. A Construção São Paulo, São Paulo, 36(1841): 21-4, 23 maio 1983.

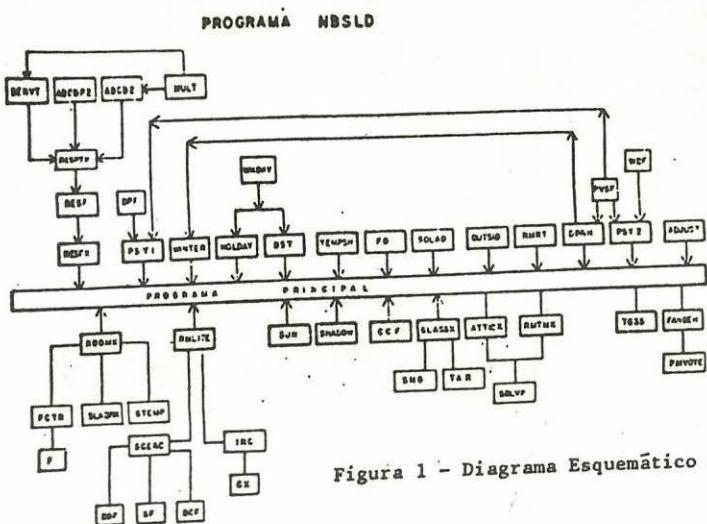


Figura 1 - Diagrama Esquemático do Programa NBSLD

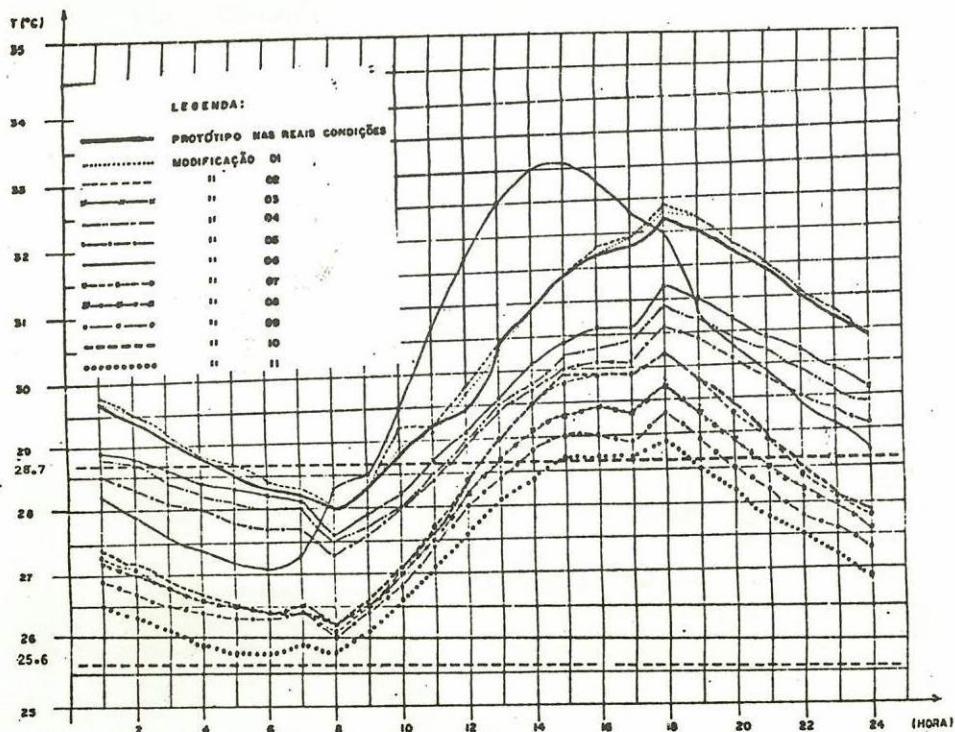


Figura 2 - Gráficos referentes ao Protótipo/Médias das temperaturas horárias do ar interior dos vários recintos com as respectivas modificações simuladas

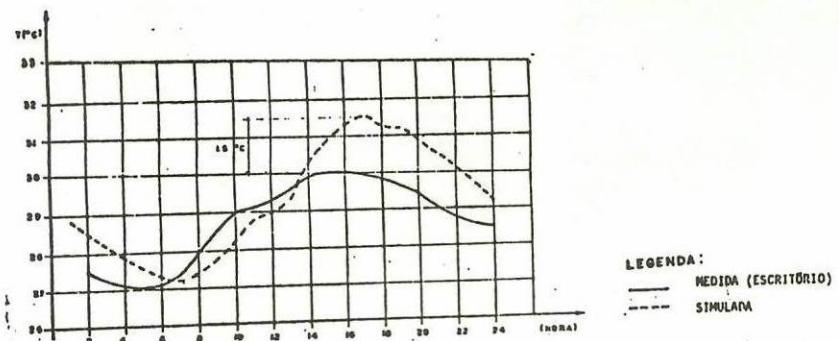


Figura 3 - Gráficos referentes ao Escritório da Estação Climática/Temperatura do Ar Interior medidas e calculadas.

Data de entrega: maio/1987